



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Numéro de publication : 0 608 024 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt : 94200086.0

(51) Int. Cl.⁵ : H04J 13/00, H04L 7/027

(22) Date de dépôt : 14.01.94

(30) Priorité : 20.01.93 FR 9300539

(43) Date de publication de la demande :
27.07.94 Bulletin 94/30

(84) Etats contractants désignés :
DE FR GB IT SE

(71) Demandeur : LABORATOIRES
D'ELECTRONIQUE PHILIPS
22, Avenue Descartes
F-94450 Limeil-Brévannes (FR)

(84) FR

(71) Demandeur : PHILIPS ELECTRONICS N.V.
Groenewoudseweg 1
NL-5621 BA Eindhoven (NL)

(84) DE GB IT SE

(72) Inventeur : Hayet, Pascal, Société Civile
S.P.I.D.
156, Boulevard Haussmann
F-75008 Paris (FR)

(74) Mandataire : Landousy, Christian et al
Société Civile S.P.I.D.
156, Boulevard Haussmann
F-75008 Paris (FR)

(54) Système de transmission avec récupération de rythme.

(57) L'invention concerne un système de transmission muni d'une récupération d'une horloge de rythme de symboles pour décoder des signaux formatés en blocs de symboles dont chaque bloc présente une redondance d'informations. Préférentiellement les signaux reçus sont formés de symboles d'une modulation codée émis selon une répartition multiplexée de fréquences orthogonales (OFDM). L'invention comprend des moyens pour retarder (12) les blocs de symboles et pour corrélérer (13) un bloc de symboles avec un bloc de symboles retardé qui lui correspond. On obtient ainsi un signal d'écart $e(t)$ qui sert à asservir une boucle (15) formée d'un oscillateur local (16), opérant à la fréquence rythme, d'un diviseur de fréquence (24) et d'un comparateur de phase (20).

Référence : Figure 2.

Application Synchronisation de récepteurs OFDM.

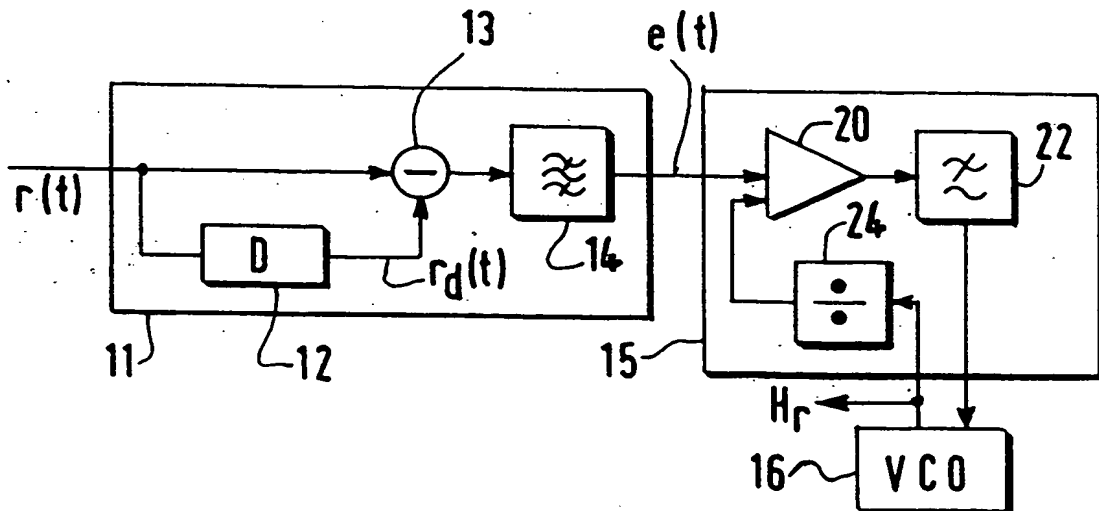


FIG.2

Jouve, 18, rue Saint-Denis, 75001 PARIS

L'invention concerne un système de transmission comprenant un émetteur pour émettre un signal d'émission formaté par blocs issus de symboles d'une constellation, un même bloc renfermant une même information présente une première et une seconde fois, et un récepteur pour recevoir ledit signal.

L'invention concerne également un récepteur mis en oeuvre dans un tel système de transmission.

5 D'une manière générale, l'invention concerne des signaux formatés par blocs pour lesquels lesdits blocs peuvent avoir une grande complexité avec une redondance d'information. Il peut, par exemple, s'agir de signaux obtenus par répartition multiplexée de N fréquences orthogonales (OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing) qui consiste à fractionner une information à transmettre en la répartissant sur un grand nombre de canaux élémentaires à bas débit. On transforme ainsi un canal à large bande fortement sélectif
10 en un grand nombre de canaux élémentaires non sélectifs. Comme l'ensemble constitue un canal à large bande, il est peu probable que des évanouissements en cours de transmission affectent simultanément la totalité du canal. Cette technique permet notamment de réduire les interférences intersymboles.

A chaque canal élémentaire correspond alors une fréquence, l'ensemble des fréquences étant symétriquement réparti autour d'une fréquence porteuse centrale. Comme à la réception il est difficilement acceptable d'utiliser des filtres sélectifs, on préfère tolérer un recouvrement des spectres mais en imposant des conditions d'orthogonalité entre les fréquences pour éliminer l'interférence intersymbole aux instants d'échantillonnage. L'ensemble du spectre d'un signal OFDM tend ainsi vers un spectre rectangulaire.

15 A la réception, les signaux reçus doivent être démodulés puis décodés pour restituer les informations d'origine. Cette démodulation met en oeuvre un oscillateur local dont la fréquence doit être asservie à la fréquence d'émission.

20 Le signal OFDM est organisé par trames formées de blocs dont certains sont des blocs de service et d'autres des blocs de données. Pour éviter les interférences intersymboles, chaque bloc contient des informations redondantes. Un bloc quelconque est formé par toutes les fréquences OFDM que met en oeuvre le dispositif, les fréquences étant modulées par des symboles à transmettre issus d'une modulation codée par exemple
25 une modulation numérique MDP ou MAQ. A l'émission, ces symboles sont codés à un certain rythme qu'il faut retrouver à la réception afin de pouvoir les décoder correctement. L'invention se propose donc de retrouver à la réception le rythme utilisé à l'émission.

On connaît le document FR 2 639 495 qui décrit un procédé de diffusion de données numériques utilisant une technique OFDM. Le procédé de récupération de la synchronisation est effectué sur la trame en utilisant
30 deux blocs spécifiques qui sont un bloc nul en début de trame, et un bloc de modulation. Ce document met en avant l'intérêt qu'il présente de ne pas synchroniser une horloge de rythme au niveau binaire comme dans les techniques antérieures. Ce document ouvre ainsi des fenêtres d'acquisition des données binaires qu'il considère comme ayant une précision suffisante pour décoder les données binaires.

35 Mais en effectuant une synchronisation une fois par trame, une trame ayant par exemple une durée de 20 ms, la précision de la synchronisation reste insuffisante.

Le but de l'invention est ainsi d'effectuer une synchronisation de rythme avec une meilleure précision que dans les techniques antérieures pour un signal formaté par blocs renfermant eux-mêmes des informations redondantes.

40 Ce but est atteint en effectuant une récupération de rythme en utilisant des données reçues à la cadence des blocs. Pour cela, le système de transmission est remarquable en ce que le récepteur comprend :

- des premiers moyens pour générer une horloge locale de rythme de symboles, ladite horloge ayant une première fréquence,
- des seconds moyens pour générer un signal d'écart accordé sur une seconde fréquence, le signal d'écart étant obtenu par corrélation, entre l'information présente la première fois et celle présente la
45 seconde fois dans un même bloc,
- des troisièmes moyens pour asservir la première fréquence à la seconde fréquence.

Ainsi avantageusement l'invention utilise la redondance des données contenues dans chaque bloc pour améliorer fortement la qualité de la synchronisation.

50 Dans le cas particulier d'un signal OFDM, avec une trame contenant 125 blocs, on peut estimer que la précision de la récupération de rythme est améliorée d'un facteur 125 environ.

Préférentiellement, les seconds moyens effectuent la corrélation en opérant une soustraction entre l'information présente la première fois et l'information présente la seconde fois.

Pour soustraire l'un de l'autre les groupes de données présents en début et en fin de chaque bloc, on utilise des moyens de retard qui forment une réplique retardée du signal reçu, réplique qui est soustraite du signal
55 reçu lui-même pour délivrer un signal de commande accordé sur la cadence bloc.

Ce signal de commande agit sur une boucle à verrouillage de phase pour asservir, à l'aide d'une division de fréquence, un oscillateur dont la fréquence d'oscillation est beaucoup plus élevée que la fréquence bloc et qui fournit l'horloge de rythme.

Ces différents aspects de l'invention et d'autres encore seront apparents et élucidés à partir des modes de réalisation décrits ci-après.

L'invention sera mieux comprise à l'aide des figures suivantes données à titre d'exemples non limitatifs qui représentent :

5 Figure 1 : un chronogramme indiquant la génération d'un signal d'écart à la cadence bloc.

Figure 2 : un schéma d'un dispositif de récupération de rythme selon l'invention disposé dans un récepteur.

La description qui suit est développée dans le cas particulier d'un signal OFDM, mais elle s'applique également à d'autres signaux formatés par blocs pour lesquels chaque bloc renferme des informations redon-

10 dantes.
La technique OFDM consiste à multiplexer en fréquence plusieurs porteuses orthogonales modulées par les symboles. Un symbole OFDM peut s'écrire s'écrire :

$$15 \quad (1) \quad s(t) = R_e \left\{ e^{2i\pi f_0 t} \sum_{k=0}^{N-1} x_k \cdot \phi_k(t) \right\}$$

pour

$$20 \quad j.T_s < t < (j+1) T_s$$

avec

$$\phi_k(t) = e^{2i\pi k t / T_s} \text{ pour } jT_s \leq t \leq (j+1)T_s$$

où :

T'_s : durée totale d'un symbole OFDM, $T'_s = T_s + \Delta$.

25 R_e : partie réelle d'un nombre complexe.

k : indice des porteuses orthogonales.

T_s : durée utile d'un symbole OFDM.

Δ : intervalle de garde.

N : nombre maximal de porteuses.

30 f_0 : fréquence arbitraire.

j : indice du symbole OFDM.

Ainsi entre les instants $j.T'_s$ et $(j+1) T'_s$, un signal OFDM est constitué par un bloc de symboles complexes x_k , chaque symbole x_k modulant une porteuse orthogonale $0 \leq k \leq N-1$.

Pour éviter le problème de recouvrement de spectre et pour faciliter le filtrage à la réception, la somme correspondante à l'équation (1), est effectuée sur N_u porteuses où N_u est le nombre de porteuses utiles ($N_u < N$):

Pour réaliser la modulation OFDM, c'est-à-dire former le signal $s(t)$ de l'équation 1, on utilise un modulateur qui effectue un calcul d'une transformée de Fourier rapide inverse (FFT⁻¹). Pour cela on choisit pour N un nombre de la forme 2^x où x est un nombre entier. On insère également d'autres blocs de contrôle destinés à la transmission.

40 Les paramètres choisis sont, par exemple, les suivants :

$$T'_s = 160 \mu s, T_s = 128 \mu s \text{ et } \Delta = 32 \mu s,$$

$$N = 1024 \text{ porteuses, } N_u = 900 \text{ porteuses.}$$

L'intervalle de garde Δ a pour rôle principal d'absorber les échos provenant du canal multitrajets et ayant des retards inférieurs à Δ . Durant l'intervalle de garde (qui est préférentiellement égal au quart de la durée utile), un signal identique à celui d'une partie de la durée utile est transmis.

Le choix de $N_u = 900$ provient du fait que la bande autour de chaque porteuse étant de $1/T_s = 7,81$ KHz, il faut 900 porteuses pour avoir une bande effective du signal transmis d'environ 7 MHz (la largeur de bande exacte étant de 7,031 MHz).

50 Les blocs à la sortie d'un codeur de canal sont transmis par trames. Ainsi une trame regroupe plusieurs blocs OFDM multiplexés temporellement. Un bloc OFDM peut contenir des données ou peut être un bloc particulier servant à la synchronisation (de trame, de rythme, de porteuse) ou servant comme bloc de référence pour la modulation différentielle.

Un exemple de structure de trame est donné par :

55

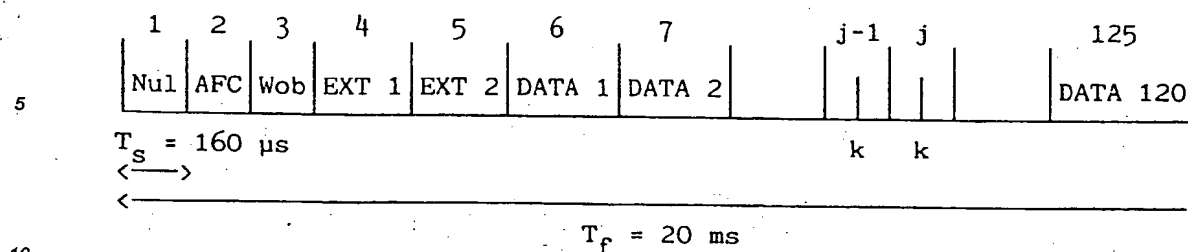


TABLEAU I

La trame contient 125 blocs OFDM et a une durée T_f de 20 ms :

- Le premier bloc est le bloc nul durant lequel rien n'est transmis ($x_k = 0$, $k = 0, N-1$). Il est utilisé pour synchroniser le début de la trame.
- Le deuxième est le bloc AFC (contrôle automatique en fréquence) utilisé pour la synchronisation en fréquence de l'oscillateur local du récepteur par rapport à celui de l'émetteur.
- Le troisième est le bloc de wobulation défini par :

$$x_k = \sqrt{2} e^{j\phi_k}, \phi_k = \pi \frac{k^2}{N} + \pi/4$$

Le bloc de wobulation est utilisé comme bloc de référence pour le codage différentiel et aussi pour estimer la réponse impulsionnelle du canal afin de synchroniser précisément le début de la trame.

- Les quatrième et cinquième blocs sont des blocs supplémentaires pouvant servir à transmettre des données de service.
- Finalement, on a les 120 blocs OFDM de données.

Une trame contient 100 mots de code générés par le codeur de canal.

L'invention met à profit l'existence d'un intervalle de garde dans chaque bloc d'une trame OFDM. La figure 1 représente deux blocs consécutifs B1 et B2. L'explication qui va suivre s'applique à tous les blocs. Les blocs B1/B2 sont formés d'un intervalle de garde de durée Δ suivi d'un intervalle utile de durée T_s qui contient des données utiles. Dans un bloc émis, les données qui apparaissent en fin de l'intervalle utile T_s sont copiées en début de bloc avant leur émission sur le canal. On observe donc que dans chaque bloc une information identique apparaît en début et en fin de bloc. Sur la figure 1, le signal reçu est le signal $r(t)$. Ce signal $r(t)$ est retardé par des moyens de retard d'un retard tel que l'information de début du signal retardé $r_d(t)$ soit en phase avec l'information de fin du signal non retardé $r(t)$. Pour un même bloc B1, ces deux informations sont identiques. En effectuant une opération de soustraction de ces deux signaux, on obtient un signal $e(t)$ qui est formé d'un intervalle de durée Δ où $e(t)$ est nul précédé d'un intervalle de durée T_s où il est non nul. Sur la figure 1, le signal $e(t)$ est représenté sous la forme de créneaux mais en réalité ce signal présente une forme plus complexe et plus sinusoïdale, ayant une fréquence fondamentale égale à la fréquence bloc. Il est donc possible par filtrage d'isoler cette fréquence bloc.

La figure 2 représente un schéma d'un dispositif selon l'invention qui permet d'isoler la fréquence bloc et d'asservir un oscillateur qui oscille à la fréquence rythme des symboles initiaux de la modulation codée. Des moyens 11 permettent de générer le signal d'écart $e(t)$ à la fréquence bloc. Les moyens 11 comprennent des moyens de filtrage accordé 14. Le signal $r(t)$ est retardé dans des moyens de retards 12 pour fournir le signal $r_d(t)$. Les signaux $r(t)$ et $r_d(t)$ sont soustraits l'un de l'autre dans des moyens de soustraction 13 et délivrent le signal d'écart $e(t)$. Ce signal d'écart $e(t)$ est au préalable filtré dans un filtre passe-bande 14 accordé sur la fréquence de blocs utilisée à l'émission.

Le signal d'écart entre dans une boucle 15 d'asservissement de phase. Elle est destinée à asservir un oscillateur local 16 de type VCO qui oscille en mode libre sur une fréquence proche de la fréquence rythme des symboles de la modulation codée. La boucle 15 est formée d'un comparateur 20, d'un filtre passe-bas 22 et d'un diviseur de fréquence 24. A titre d'exemple, la fréquence du signal $e(t)$ peut être égale à 12,5 KHz et la fréquence de l'oscillateur être voisine de 16 MHz. Le signal de sortie du filtre 22 (12,5 KHz) asservit la fréquence de l'oscillateur 16. Pour réduire la fréquence du signal de l'oscillateur à une fréquence de 12,5 KHz pour que la boucle 15 puisse fonctionner, il faut insérer un diviseur de fréquence 24. Dans l'exemple cité, il faut effectuer une division par un facteur 1280. Lorsque le verrouillage est effectué, la sortie de l'oscillateur délivre l'horloge de rythme Hr.

Revendications

1. Système de transmission comprenant un émetteur pour émettre un signal d'émission formaté par blocs (B1, B2) issus de symboles d'une constellation, un même bloc (B1, B2) renfermant une même information (Δ) présente une première et une seconde fois, et un récepteur pour recevoir ledit signal, caractérisé en ce que le récepteur comprend :
 - des premiers moyens (16) pour générer une horloge locale de rythme de symboles, ladite horloge ayant une première fréquence,
 - des seconds moyens (11) pour générer un signal d'écart accordé sur une seconde fréquence, le signal d'écart étant obtenu par corrélation, entre l'information présente la première fois et celle présente la seconde fois dans un même bloc,
 - des troisièmes moyens (15) pour asservir la première fréquence à la seconde fréquence.
2. Système de transmission selon la revendication 1, caractérisé en ce que les seconds moyens comprennent des moyens de retard retardant les signaux reçus d'un délai séparant la première et la seconde présence de la même information.
3. Système de transmission selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les seconds moyens sont adaptés pour corrélér, par soustraction, l'information présente la première fois et l'information présente la seconde fois.
4. Système de transmission selon les revendications 1, 2 ou 3, les blocs apparaissant à une cadence bloc, caractérisé en ce que la seconde fréquence est égale à la cadence bloc, les troisièmes moyens comprenant une boucle à verrouillage de phase à division de fréquence, les premiers moyens comprenant un oscillateur à fréquence élevée.
5. Récepteur pour recevoir un signal d'émission formaté par blocs (B1, B2) issus de symboles d'une constellation, un même bloc (B1, B2) renfermant une même information (Δ) présente une première et une seconde fois, caractérisé en ce que le récepteur comprend :
 - des premiers moyens (16) pour générer une horloge locale de rythme de symboles, ladite horloge ayant une première fréquence,
 - des seconds moyens (11) pour générer un signal d'écart accordé sur une seconde fréquence, le signal d'écart étant obtenu par corrélation, entre l'information présente la première fois et celle présente la seconde fois dans un même bloc,
 - des troisièmes moyens (15) pour asservir la première fréquence à la seconde fréquence.
6. Récepteur selon la revendication 5, caractérisé en ce que les seconds moyens comprennent des moyens de retard retardant les signaux reçus d'un délai séparant le premier et la seconde présence de la même information.
7. Récepteur selon les revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que les seconds moyens sont adaptés pour corrélér, par soustraction, l'information présente la première fois et l'information présente la seconde fois.
8. Récepteur selon les revendications 5, 6 ou 7, les blocs apparaissant à une cadence bloc caractérisé en ce que la seconde fréquence est égale à la cadence bloc, les troisièmes moyens comprenant une boucle à verrouillage de phase à division de fréquence, les premiers moyens comprenant un oscillateur à fréquence élevée.

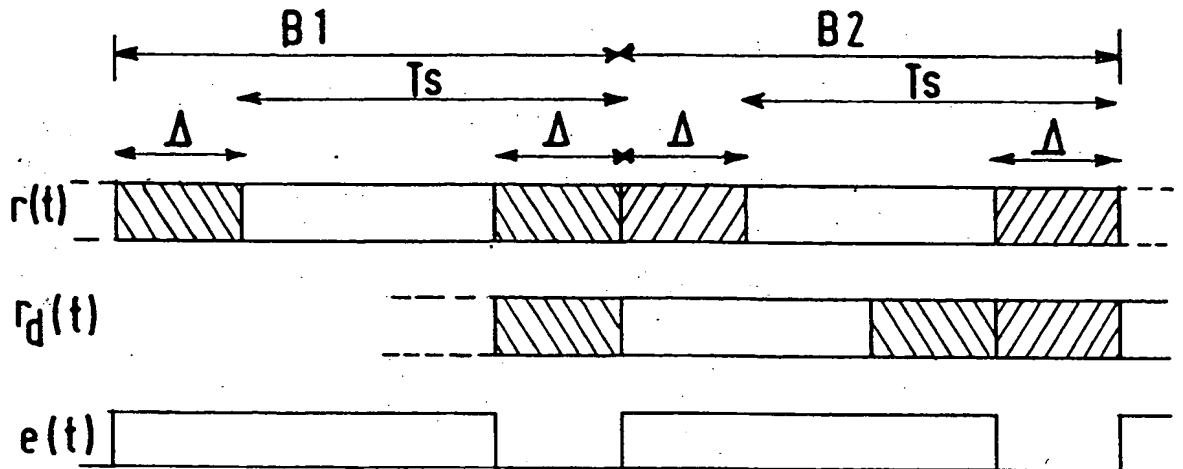


FIG.1

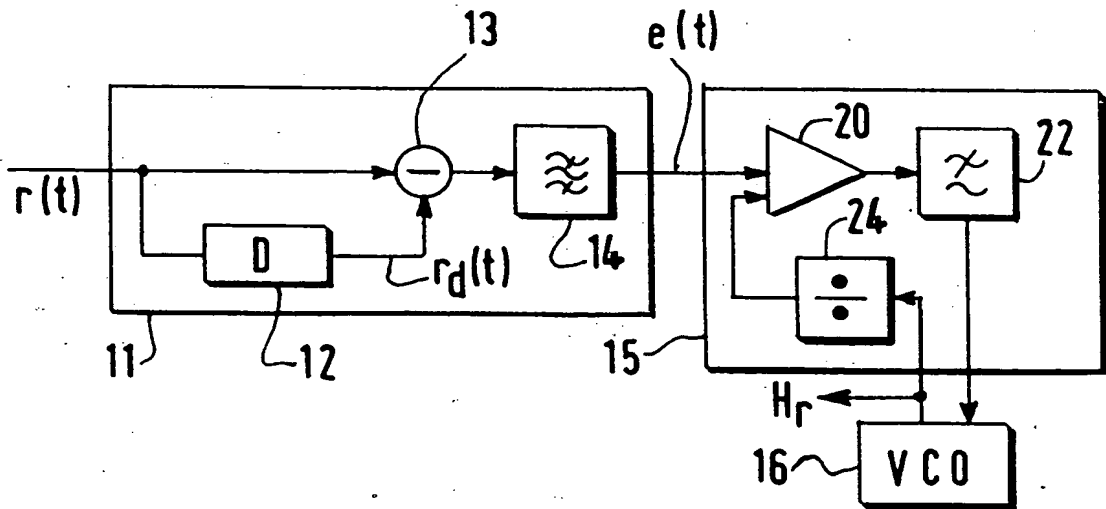


FIG.2



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 94 20 0086

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.CLS)
X	MICROPROCESSORS AND MICROSYSTEMS, vol.12, no.4, 1 Mai 1988, LONDON GB pages 214 - 224, XP98953 JOHN ELDON 'Applications of the digital correlator.' * page 218, colonne 3, ligne 11 - ligne 32 * * page 221, colonne 1, ligne 32 - ligne 39 * * page 220, colonne 2, ligne 33 - colonne 3, ligne 36 * * page 221, colonne 3, ligne 21 - page 222, colonne 3, ligne 28 *	1-8	H04J13/00 H04L7/027
X	US-A-3 599 103 (HENRI JEAN NUSSBAUMER) * colonne 1, ligne 5 - ligne 12 * * colonne 2, ligne 11 - ligne 32 * * colonne 2, ligne 48 - colonne 3, ligne 36 *	1-3,5-7	
X	US-A-3 883 729 (FRANCOIS AUGIER DE CREMIERS) * colonne 1, ligne 23 - ligne 36 * * colonne 2, ligne 3 - ligne 44 *	1-3,5-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CI.5) H04J H04L
D,A	EP-A-0 369 917 (ETAT FRANCAIS) * page 2, ligne 25 - ligne 39 * * page 4, ligne 14 - ligne 52 * * page 7, ligne 1 - ligne 5 *	1-8	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 26 Avril 1994	Examineur van den Berg, J.G.J.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention F : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande I : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 (01.92) (P4C02)

THIS PAGE BLANK (USPTO)